Aus dem Arbeitsphysiologischen Institut der Universität Breslau
(Direktor: Professor Dr. A. Basler)

Veränderungen des Fußes während des Heranwachsens

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Medizinischen Doktorgrades an der Friedrich-Wilhelms-Universität zu Breslau

vorgelegt von

Paul Nowak
bestallter Arzt

Breslau 1939

Frankes Verlag und Druckerei / Otto Borgmeyer / Breslau 1

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität Breslau

1. Referent: Professor Dr. Basler
2. Referent: Professor Dr. Stolte
Dekan: Professor Dr. Gutzeit

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Vergleichen wir den Fuß eines Kindes mit dem eines Erwachsenen, so erkennen wir bei näherer Beobachtung bald, daß sich beide Füße nicht nur in ihrer Größe unterscheiden, sondern namentlich in ihrer Form. Diese Unterschiede kennen die Maler; so springt beispielsweise der Unterschied sofort in die Augen bei einem Vergleich des Fußes des Adam in dem bekannten Gemälde Michelangelos „Die Erschaffung des Adam" mit dem kindlichen Fuß in Mathias Grünewalds Bild der Madonna mit dem Kinde vom Isenheimer Altar: beim kindlichen Fuß sind die einzelnen Formen noch verwaschen, vorn über den Zehen liegt die größte Fußbreite, die Großzehe ist durch einen weiten Zwischenraum von der zweiten Zehe getrennt, die Zehen selbst sind ganz gerade, auch ohne Andeutung einer Hammerzehe oder sonst irgend welcher Verkümmerung; das Gewölbe des Fußes ist scheinbar wenig ausgebildet, der Fußrücken von einem Fettpolster überdeckt, das besonders am Übergang zum Bein deutlich Einschnitte und Falten zeigt, die Knöchel sind kaum angedeutet; ganz anders dagegen der Fuß des Adam; zwar auch hier liegt zwischen großer und zweiter Zehe ein Zwischenraum, aber die Großzehe ist doch deutlich nach auswärts gerichtet, der Großzehenballen tritt hervor, die einzelnen Zehen zeigen eine leichte Neigung zur Beugung, auf dem hochgewölbten Fußrücken sind sogar einzelne Sehnenstränge als ein Zeichen für fehlendes Fettpolster sichtbar; das ist besonders der Fall am Übergang zum Unterschenkel, so daß ein kleines Grübchen zwischen den Sehnen des Musculus tibialis anterior und des M. extensor dig. long. zu sehen ist; endlich springen die Knöchel mächtig vor; der Fuß verschmälert sich zwar im ganzen nach hinten, aber die größte Breite verläuft nicht über die Zehenspitzen, sondern über die Zehenansätze und den Großzehenballen.

Auch wissenschaftliche Untersuchungen über die Veränderungen der Fußform liegen vor. Davenport[1]) hat

darauf hingewiesen, daß das Wachstum des Fußes, nicht nur das Wachstum in die Länge, sondern auch das in die Breite und das Wachstum der Fußfläche, nicht gleichmäßig vor sich geht, sondern zu verschiedenen Entwicklungsphasen verschieden ist; ferner hat er dabei Unterschiede des Geschlechts, der Rasse und solche, die sozial bedingt sind, gezeigt. Weißenberg[2]) kam zu dem Ergebnis, „daß von der frühesten Jugend bis zum hohen Alter die Häufigkeit des Vorkommens einer längeren zweiten Zehe" immer dieselbe bleibe. Daß die während des Heranwachsens auftretenden Veränderungen weitgehend durch die Fußbekleidung bedingt sein können, darauf soll weiter unten noch eingegangen werden. Schon Ranke[3]) weist auf die unverbildeten Zehen beim Fuß des Feuerländers, der nie Schuhe trägt, hin; nebenbei bemerkt fällt ihm die größere Breite des männlichen Fußes zur verhältnismäßig schmäleren der Feuerländerin auf, ein Unterschied, der wohl auch bei den Europäern besteht und der sich auch erst während des Wachstums einstellt. Einige andere Autoren sollen bei der Erörterung der Ergebnisse erwähnt werden. Aus den vielen Formänderungen, die sich während des Wachstums vollziehen, habe ich nur zwei untersucht. Die eine ist die Abknickung der großen Zehe nach außen, die andere das Verhältnis der beiden Hebelarme des als Hebelsystem aufgefaßten Fußes zueinander.

Beim Fuß des Neugeborenen gehen die einzelnen Zehen strahlenförmig auseinander, sodaß die Zehenpartie das größte Breitenmaß aufweisen kann. Während des Heranwachsens legen sich bei den meisten Menschen die Zehen fester zusammen, ja noch mehr die Achse der großen Zehe bleibt nicht in der Richtung des inneren Fußrandes, sondern bildet mit diesem einen nach außen offenen Winkel. Wenn eine solche Abbiegung einen gewissen Grad erreicht hat, spricht man vom „Hallux valgus". Obwohl jedermann diese Deformität kennt, lagen doch zahlenmäßige Reihenuntersuchungen, die insbesondere die Frage nach dem Einfluß des Schuhwerks auf die Entstehung dieser Deformität klären könnten, kaum vor.

Eigene Untersuchungen über die Größe des Halluxwinkels während des Heranwachsens.

Der Anfang meiner Untersuchungen fällt in den Sommer 1936. Soweit sie sich auf Kinder beziehen, führte ich sie in drei Breslauer Schulen aus. Im ganzen wurden 692 Mädchen im Alter von 6—16 Jahren und 411 Knaben im Alter von 6—14 Jahren gemessen. Zum Vergleich untersuchte ich auch 28 männliche und 26 weibliche erwachsene Personen. Die Kinder wurden nach Jahresklassen geordnet. Dabei wurden z. B. sämtliche Kinder von 7—8 Jahren zur Altersklasse 7½ zusammengefaßt. Bei dieser Aufstellung haben sich Unterschiede feststellen lassen, die zwar gering, aber deutlich erkennbar sind.

Die Großzehe kann durch ihre Abweichung nach außen mit der Verlängerung des inneren Fußrandes einen Winkel bilden, den ich nach Prof. Basler Großzehen- oder Halluxwinkel nenne. Ich maß, wie ich das in einer früheren Veröffentlichung angedeutet habe,[4]) den Halluxwinkel auf folgende Weise. Ich legte ein Lineal zunächst an die Innenkante des Fußes und darauf an die große Zehe, zeichnete seinen Verlauf mit einem Stift nach und las auf der so entstandenen Zeichnung den Winkel an einem Transporteur ab. Für die maßgebende Richtung der inneren Fußkante hielt ich dabei die Verbindungslinie zwischen medialem Fersenrand und medialem Metatarsusköpfchen. Das betone ich deswegen, weil besonders beim Knickplattfuß oft die Fußwurzelknochen derart weit medialwärts ausladen, daß der innere Fußrand zwei verschiedene Verlaufsrichtungen zeigt, die eine vom Fersenrand zum vorspringenden Os naviculare, die andere vom Os naviculare zum Metatarsusköpfchen. Legte man also das Lineal z. B. an die Kante an, die das vorspringende Naviculare mit dem Köpfchen des Metatarsale I bildet, so fiele der Großzehenwinkel zu klein aus. Ferner darf man das Lineal beim Anlegen an die Großzehe nicht mit Kraft andrücken; denn gerade bei kleinen Kindern ist die Großzehe in ihrer Stellung oft noch so labil, daß leichtester Druck genügt, um die Großzehe fast reflektorisch in eine vom inneren Fußrand stärker abweichende Richtung schnellen zu lassen.

Ergebnisse.

Die so gewonnenen Ergebnisse für den Halluxwinkel sind eindeutig. Betrachten wir zunächst die Ergebnisse bei den Knaben. Die Mittelwerte [5]) der Großzehenwinkel beginnen mit 3° in der Altersklasse 6½ und enden nach fast stetiger Zunahme in den dazwischen liegenden Altersklassen mit einem Wert von 9,1° in der Klasse 13½. Die Dezimalen bedeuten dabei Bruchteile eines Grades. Der mittlere Winkel ist also von der Altersklasse 6½ bis zur Altersklasse 13½ um volle 6° gestiegen. Ähnlich verhalten sich die Zentralwerte [6]). Der kleinste Wert für den Großzehenwinkel beträgt jedoch in allen Altersklassen ohne Ausnahme 0°, und die höchsten Werte zeigen auch im Gegensatz zu den Mittelwerten ein auffallend geringes Steigen, ja man kann sagen, sie liegen in allen Altersklassen annähernd gleich, nämlich bei 15°. Die Ergebnisse bei den erwachsenen Personen vervollkommnen nur das Bild. Bei den Männern liegt der Mittelwert der Winkel bei 13°, der kleinste Wert bei 4°, der höchste bei 23°.

Tabelle 1.

Großzehenwinkel der Knaben und der Männer.

Altersklasse	6	7	8	9	10	11	12	13	Erwachsene
Mittelwert	3°	4,1°	3,6°	4,7°	6,2°	6,4°	7,3°	9,1°	13°
Zentralwert	0°	4°	3°	3,3°	5,5°	6,6°	7,5°	9,6°	12°
Kleinster Wert	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	4°
Größter Wert	14°	14°	14°	15°	21°	15°	14°	15°	23°

Die Tatsache, daß die kleinsten und größten Werte gleich sind, beweist, daß die Verschiedenheit der Mittelwerte nur durch eine Verschiedenheit der Verteilung der Schüler auf die Winkelgrößen in den Altersklassen bedingt sein kann. Um das anschaulich zu machen, habe ich in der Tabelle 2 in den verschiedenen Altersklassen die Personen nach Winkelgruppen zusammengefaßt; ich habe Winkelgruppen von 0° bis 4°, von 5° bis 8°, von 9° bis 12°, von 13° bis 16°, von 17° bis 20°, von 21° bis 24°, von 25° bis 30° und endlich eine Winkelgruppe von über 30° gewählt.

Tabelle 2.

Verteilung der Knaben und Männer auf die verschiedenen Winkelgruppen.

Winkelgruppe	Altersklasse 6	7	8	9	10	11	12	13	Erwachsene	
0°— 4°	38	30	17	27	15	23	7	4	2	Personen
5°— 8°	15	11	13	13	15	23	9	8	2	„
9°—12°	12	14	11	8	7	10	15	13	10	„
13°—16°	1	2	—	3	4	5	6	7	7	„
17°—20°	—	1	—	1	1	—	—	1	4	„
21°—25°	—	—	—	—	—	1	—	—	3	„
25° und darüber	—	—	—	—	—	—	—	—	—	„
	66	78	41	52	42	62	37	33	28	Gesamtzahl der Personen

Im einzelnen verteilen sich unter Zugrundelegung dieser Winkelgruppen die Winkel in den einzelnen Altersklassen folgendermaßen. In der Altersklasse 6½ beim männlichen Geschlecht wurden 66 Personen gemessen; einen Winkel von 0° bis 4° wiesen 38 Jungen auf, einen Winkel von 5° bis 8° 15 Knaben, 12 Schüler hatten einen Winkel zwischen 9° und 12° und einer einen Winkel zwischen 13° und 16°. In der Altersklasse 7½, die 78 Knaben enthält, fand ich 30 Jungen mit einem Großzehenwinkel von 0° bis 4°, 11 mit einem solchen von 5° bis 8°, 14 mit einem Winkel von 9° bis 12°. In der Klasse 8½ mit 41 Schülern stehen 17 in der niedrigsten Winkelgruppe, 13 in der Gruppe mit einem Winkel von 5° bis 8°, 11 in der Gruppe von 9° bis 12°. Bei den 52 Neuneinhalbjährigen ist immer noch die niedrigste Winkelgruppe mit 27 Schülern die verhältnismäßig stärkste; ihr folgen die Gruppe mit einem Winkel von 5° bis 8° mit 13 Schülern und 8 Schüler mit einem Winkel von 9° bis 12°. Bei den Altersklassen 10½ und 11½ sind bereits die beiden ersten Winkelgruppen von 0° bis 4° und von 5° bis 8° gleich stark; in der Klasse 10½, in der ich 42 Schüler gemessen habe, fand ich in den beiden ersten Winkelgruppen je 15 Schüler, in der Klasse 11½, die 62 Schüler umfaßt, in den beiden ersten Winkel-

gruppen je 23 Schüler. Anders werden die Verhältnisse bei den Zwölfeinhalb- und bei den Dreizehneinhalbjährigen, von denen ich je 37 beziehungsweise 33 Jungen gemessen habe; hier ist die Gruppe mit einem Winkel von 9° bis 12° mit 15 beziehungsweise 13 Jungen die stärkste. Auch bei den 28 männlichen Erwachsenen steht die Gruppe mit einem Winkel von 9° bis 12° mit 10 Männern an der Spitze. Wie nach den bereits angeführten Ergebnissen nicht anders zu erwarten, sieht man einen verhältnismäßigen Rückgang der Zahl der gemessenen Personen in den niedrigsten Winkelgruppen mit zunehmendem Alter, andererseits ein Ansteigen mit fortschreitendem Alter der Zahl der Personen, die einer hohen Winkelgruppe angehören. So stehen in der niedrigsten Winkelgruppe den 38 Schülern der Altersklasse 6½ nur noch 4 in der Klasse 13½ gegenüber; allerdings ist die Klasse 6½ in ihrer Gesamtzahl doppelt so stark wie die Klasse 13½, so daß das Verhältnis der beiden Altersklassen in der niedrigsten Winkelgruppe 38 : 8 ist. Bei den 28 männlichen Erwachsenen fand ich immerhin noch 2 in der niedrigsten Winkelgruppe. Der höchste Großzehenwinkel dagegen liegt bei den Sechseinhalbjährigen in der Winkelgruppe 13° bis 16°, und diesem einzigen Schüler stehen in derselben Winkelgruppe 7 Schüler der halb so starken Klasse der Dreizehneinhalbjährigen gegenüber, das Verhältnis ist also 1 : 14. Im übrigen ist die Verteilung auf die weniger starken Winkelgruppen aus der Tabelle 2 zu ersehen.

Noch klarer sind die Ergebnisse bei den Mädchen. Es weist die Altersklasse 6½ einen mittleren Abknickungswinkel von 5,6°, die Altersklasse 13½ einen solchen von 11,6° und die Klasse 15½ einen Winkel von 12,4° auf. Die Zunahme beträgt also vom 6. bis zum 13. Lebensjahr 6°, genau wie bei den Knaben. Die Zentralwerte verhalten sich auch hier entsprechend den Mittelwerten, im allgemeinen liegen auch bis zum Jahrgang 13½ die kleinsten Werte wie bei den Knaben bei 0°, dann aber steigen auch letztere. Ein Anwachsen der größten Werte dagegen ist wie bei den Knaben wenig ausgeprägt. Bei den Frauen liegt der Mittelwert für den Großzehenwinkel bei 18°. Die Zentralwerte zeigen, wie nicht anders zu erwarten, ein ähnliches Verhalten wie die Mittelwerte. Der kleinste Großzehenwinkel bei den Frauen betrug 11°, der höchste 34°.

Tabelle 3.

Großzehenwinkel der Mädchen und Frauen.

Altersklasse	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Erwachsene
Mittelwert	5,6°	6°	7,3°	6,4°	8,9°	10,6°	10,3°	11,6°	11,8°	12,4°	18°
Zentralwert	5,3°	5,5°	6,4°	7,5°	9,3°	10,7°	10,4°	11,1°	11°	12,5°	17,5°
Kleinster Wert	0°	0°	0°	0°	0°	0°	2°	0°	3°	8°	11°
Größter Wert	16°	15°	18°	18°	23°	22°	21°	26°	20°	19°	34°

Auch die Streuung der Winkel in den einzelnen Altersklassen, die in Tabelle 4 angegeben ist, zeigt ein ähnliches Bild wie beim männlichen Geschlecht. Allerdings weist hier bereits bei den jüngsten Altersklassen nicht mehr die niedrigste Winkelgruppe die meisten Personen auf, sondern die nächst höhere Gruppe mit einem Winkel zwischen 5° und 8°. Diese Gruppe zählt bei den insgesamt 84 Sechseinhalbjährigen 36 Mädchen, bei den 60 gemessenen Siebeneinhalbjährigen 23 Mädchen; bei den Achteinhalbjährigen, von denen ich 73 Kinder untersucht habe, enthält diese Winkelgruppe 24 Mädchen, und bei den 89 Neuneinhalbjährigen weist sie 31 Schülerinnen auf. Dann zeigt die Winkelgruppe mit einem Winkel von 9° bis 12° die höchste Frequenz. In diese Gruppe fallen von den 75 Zehneinhalbjährigen 32 Mädchen, von den 87 elfeinhalbjährigen Schülerinnen 30 Mädchen, von den 100 zwölfeinhalbjährigen Schülerinnen 41 Mädchen, bei den 72 Dreizehneinhalbjährigen 23 Mädchen und endlich von den 30 Vierzehneinhalbjährigen 9 Mädchen. Die 22 fünfzehneinhalbjährigen Schülerinnen waren am zahlreichsten in der noch höheren Gruppe mit einem Winkel von 13° bis 16° vertreten; diese Gruppe enthält bei ihnen 9 Schülerinnen. Die 26 Frauen vervollkommnen nur das Bild dieser gesetzmäßigen Entwickelung; die stärkste Gruppe bei ihnen ist die Gruppe mit einem Winkel von 17° bis 20°, sie enthält 8 Frauen. Im Einklang mit den Ergebnissen beim männlichen Geschlecht nimmt auch bei den Mädchen und Frauen mit fortschreitendem Alter die Zahl der Personen in den niedri-

gen Winkelgruppen ab, umgekehrt wächst sie in den höheren Winkelgruppen. So enthält noch die Winkelgruppe 0° bis 4° bei den sechseinhalbjährigen Mädchen 22 Schülerinnen, bei den Vierzehneinhalbjährigen fand ich bereits kein Mädchen mehr mit einem Winkel unter 4° und bei den Fünfzehneinhalbjährigen nur eins; bei den erwachsenen weiblichen Personen habe ich sogar keinen Großzehenwinkel unter 8° gemessen. Auf der anderen Seite maß ich erstmalig erst bei den Dreizehneinhalbjährigen einen Winkel über 25°, einen solchen über 30° nur bei den weiblichen Erwachsenen.

Tabelle 4.

Verteilung der Mädchen und Frauen auf die verschiedenen Winkelgruppen.

Winkelgruppe	Altersklasse 6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Erwachsene	
0°— 4°	22	17	13	8	4	5	5	1	—	1	—	Personen
5°— 8°	36	23	24	31	15	12	17	9	7	1	—	„
9°—12°	19	16	18	25	32	30	41	23	9	8	5	„
13°—16°	6	4	12	18	17	25	19	18	7	9	6	„
17°—20°	1	—	3	5	6	13	17	18	5	2	8	„
21°—24°	—	—	3	2	1	2	1	2	2	1	4	„
25°—30°	—	—	—	—	—	—	—	1	—	—	2	„
über 30°	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	„
	84	60	73	89	75	87	100	72	30	22	26	Gesamtzahl der Personen

Das wichtigste Ergebnis davon also ist das: der Großzehenwinkel steigt mit zunehmendem Alter.

Unterschiede des Geschlechts.

Zieht man nun einen Vergleich zwischen männlichem und weiblichem Geschlecht, so springt sofort ein deutlicher Unterschied in die Augen. Man sieht, daß die Zunahme bei den Schülern männlichen und weiblichen Geschlechts zwar gleichmäßig stark ist, daß aber die Werte des Großzehenwinkels bei dem weiblichen Geschlecht im Mittel um ungefähr 2,5° höher liegen. Der Vergleich der Erwachsenen läßt diesen Un-

terschied noch stärker hervortreten; allerdings ist zu beachten, daß das Durchschnittsalter bei den gemessenen Männern mit 26 Jahren niedriger ist, als das der untersuchten Frauen mit dem durchschnittlichen Alter von 33,3 Jahren. Bei den Erwachsenen liegen auch die größten Werte für den Großzehenwinkel bei den Frauen weit höher als bei den Männern.

Abhängigkeit des Großzehenwinkels von der Körpergröße in den einzelnen Altersklassen.

Der Großzehenwinkel steigt bei den Kindern nicht nur mit dem Alter, sondern es ließ sich auch in den einzelnen Altersklassen ein Wachsen mit der Körpergröße feststellen. Ich habe jede Altersklasse in zwei Hälften geteilt, von denen die eine die größeren, die andere die kleineren Schüler enthält. Von jeder Hälfte errechnete ich dann die Mittelwerte für den Großzehenwinkel, die Tabelle 5 enthält. Es ergab sich, daß bei den Mädchen mit zwei Ausnahmen, bei den Knaben in allen Altersklassen der mittlere Halluxwinkel der Hälfte der größeren Schüler höher liegt als der der Hälfte der kleineren Schüler. Bei den Erwachsenen ließ sich keine Beziehung zwischen Körpergröße und Größe des Großzehenwinkels finden.

Tabelle 5.

Mittelwerte der Großzehenwinkel von jeweils der Hälfte der größeren und der Hälfte der kleineren Schüler.

Knaben.

Altersklasse	6	7	8	9	10	11	12	13
Größere Schüler	3,9°	4,9°	4,7°	4,8°	6,7°	7,6°	7,5°	9,3°
Kleinere Schüler	2°	3,4°	2,2°	4,5°	5,6°	5,2°	7,1°	8,8°

Mädchen.

Altersklasse	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Größere Mädchen	6,7°	5.2°	7.5°	8.4°	8.8°	11°	10.6°	12,9°	12.3°	12.6°
Kleinere Mädchen	4,9°	6,6°	7,1°	5.3°	9°	10.4°	9,7°	10°	11,3°	12,3°

Keine gesetzmäßige Verschiedenheit zwischen rechtem und linkem Fuß hinsichtlich des Großzehenwinkels.

In der Mehrzahl der Fälle sind die Winkel, die die Großzehe mit dem inneren Fußrand bildet, bei beiden Füßen annähernd gleich groß. Je größer allerdings die Großzehenwinkel werden, umso mehr Unterschiede sind naturgemäß zu erwarten und auch vorhanden, also besonders bei den Erwachsenen. Hier finden wir selten, daß zwei Winkel bis auf den Grad übereinstimmen. Die in den Tabellen angeführten Werte sind stets, auch später bei den Hebelarmen, vom linken Fuß genommen. Wie stark die Großzehenwinkel variieren können, das zeigt das Beispiel der weiblichen erwachsenen Versuchsperson, die den höchsten Winkel mit 34° links aufweist, sie hatte nämlich rechts nur einen Winkel von 22°. Eine andere Frau, die links einen Großzehenwinkel von 25° aufwies, zeigte rechts einen solchen von 33°. Allerdings sind dies extreme Verschiedenheiten. Ich habe die durchschnittliche Abweichung [1]) des Großzehenwinkels bei den Erwachsenen berechnet und bei Frauen sowie Männern ungefähr den gleichen durchschnittlichen Wert der Abweichung zwischen rechts und links von 3,5° erhalten. Eine Gesetzmäßigkeit jedoch der Art, daß etwa der Großzehenwinkel des rechten Fußes im Mittel größer wäre als der des anderen, habe ich nicht ermitteln können.

Niedrigere Großzehenwinkel bei barfuß laufenden Personen.

Eine Gegenüberstellung von Personen, die angaben, barfuß zu laufen, und von solchen die es verneinten, läßt sich bei den Kindern mit einem positiven Resultat nicht durchführen, da ihre Angaben z. T. unrichtig sind, man aber auch bei Stadtkindern nicht streng scheiden kann zwischen Barfußläufern und Nichtbarfußläufern. Dagegen eigenen sich die gemessenen Frauen, von denen ein Teil Landfrauen sind, die öfter barfuß laufen und es auch angaben, für eine Gegenüberstellung. Der Halluxwinkel der 6 Frauen, die öfter oder viel barfuß liefen, beträgt links 15°, rechts 13,3°, der Großzehenwinkel der andern 20 Frauen, die nicht barfuß liefen,

beträgt im Mittel beiderseits 19°. Von den 28 gemessenen Männern, die mit zwei Ausnahmen alle Studenten sind, habe ich 3 herausgegriffen, die durchschnittlich viel Sport trieben und dabei viel barfuß liefen. Ihr mittlerer Winkel weist links einen Wert von 5,6°, rechts von 4,3° auf, während der Halluxwinkel der anderen 25 gegen 15° beträgt, links und rechts ungefähr gleich. Allerdings sind 2 von diesen 3 Sportlern ausgesprochen athletische Typen; es fällt also bei ihnen auch die den Hallux valgus sicher begünstigende Bindegewebsschwäche fort; der Dritte war ein Pykniker. Daraus geht also hervor, daß Barfußläufer kleinere Großzehenwinkel haben, eine Tatsache, die ja durch Untersuchungen an Naturvölkern unterstützt wird, z. B. durch Ranke, wie schon in der Einleitung erwähnt.

Erörterung der Ergebnisse über den Großzehenwinkel.

Wie sind nun diese Ergebnisse zu erklären? Nun, man kann sie auf einen Nenner bringen, indem man das Schuhwerk als Ursache für die Veränderungen des Großzehenwinkels während des Wachsens ansieht. Die Frage nach dem Einfluß des Schuhwerks auf den Fuß ist eine alte Streitfrage. Jahrzehntelang hatte die Ansicht von Schanz[8]) Gültigkeit, der den Schuh als eine Notwendigkeit für den angeblich nur an Wald- und Wiesenboden gewöhnten Menschenfuß ansah, der dem Fuß halt geben sollte. Durch Schede[8]) ist diese zum Teil auf Irrtümern aufgebaute Lehre widerlegt worden. Nach seinen Untersuchungen ist die Knickzehe oft eine Folge des Senkfußes; mit dem Einfallen des Fußgewölbes im Scheitel, d. h. in der Mitte des Fußes werden die Metacarpen dorsalwärts aufgebogen, das Metacorpale I aber noch dazu medialwärts abgebogen, wodurch eine stärkere Spannung des Flexor hallucis long. und brev. und durch diese weiter entweder eine Ankylose im Großzehengrundgelenk oder ein Hallux valgus entsteht. Teilweise ist nun aber der Senkfuß auch eine Folge der Fußbekleidung, weil durch sie das Muskelspiel gehemmt wird, wie z. B. Thomsen[10]) betont. Ähnliche Ansichten vertreten Hohmann[11]), Matheis[13]), ferner Payr[14]), der auch als Ursache der Knickzehe Kapselschrumpfung und ablenkenden Muskelzug bei allgemeiner Asthenie angibt.

Ich glaube jedoch, daß diese Ursachen nur für einen kleinen Teil und wahrscheinlich nur für die stark pathologischen Knickzehen zutreffen. Von den von mir gemessenen Frauen hatte nur eine einzige einen ausgesprochenen Plattfuß und dabei rechts einen Großzehenwinkel von 33°, links einen solchen von 25°. Die Frau jedoch, die den höchsten Wert von 34° aufwies, hatte weder Spreiz- noch Senkfuß. Bei den von mir vermessenen Männern habe ich keine ausgesprochen pathologischen Fußformen gefunden. Am nächsten liegt meines Erachtens, die Annahme, daß das Schuhwerk durch direkten Druck die große Zehe nach auswärts drängt. Für diese Ansicht spricht auch die Beobachtung, daß bereits Strümpfe einengen und ziemlich stark abweichende Winkelwerte für die Abknickung der Zehe von den ohne Strümpfe erhaltenen Werten sich ergeben. Auch Thomsen[10]) hebt schon die Einschränkung der Beweglichkeit der Zehen durch die Strümpfe hervor. Unterstützt wird diese Vorstellung ferner durch das oft gegensätzliche Verhalten der Kleinzehe zur großen Zehe, indem erstere nach einwärts abgewinkelt ist, und durch unsere spitzen Schuhe, die vorn auf die Zehe den größten Druck auszuüben vermögen. Im Einklang mit dieser Vorstellung von der ursächlichen Bedeutung der Fußbekleidung überhaupt, die wohl über alle Zweifel erhaben ist, steht die Zunahme des Großzehenwinkels mit zunehmendem Alter. Erhärtet wird zweitens diese Annahme durch die Feststellung, daß Barfußläufer niedrigere Halluxwinkel aufweisen als Leute, die viel in Schuhen laufen. Im Anschluß an meine schon oben erwähnte Veröffentlichung[15]) hat Sombeck[16]) die Stellung der Großzehe verglichen bei Kindern, die den ganzen Sommer über barfuß gehen, und bei solchen, die das ganze Jahr hindurch Schuhe tragen. Ihre Ergebnisse decken sich, wie ich zu meiner Befriedigung feststellen kann, voll mit den meinigen. Drittens: im Sinne der ursächlichen Bedeutung des Schuhwerks für die Knickzehe ist der Unterschied zwischen Mädchen und Knaben zu deuten; ferner verträgt sich auch das Schuhwerk beim weiblichen Geschlecht, besonders bei den erwachsenen weiblichen Personen, weniger mit der natürlichen Fußform als das der Männer; dieser Umstand dürfte es erklären, daß der Unterschied der Winkelgröße bei den Erwachsenen stärker ist als bei den Jugendlichen. Endlich spricht als vierter Punkt für den Einfluß des

Schuhwerks auf die Zunahme des Halluxwinkels die Beziehung von Körpergröße und Steigen des Großzehenwinkels bei den Kindern; da die größeren Kinder schneller wuchsen, wurde ihnen auch eher das Schuhwerk zu eng und konnte die Entwickelung schneller in falsche Bahnen geleitet werden. Letzterer Grund könnte auch die Tatsache erklären, daß ab und zu auch in den jüngsten Altersklassen sehr hohe Zehenwinkel vorkommen. Zusammenfassend sei also betont, daß für die Zunahme des Großzehenwinkels und schließlich auch für die Entstehung der schwersten Form der Abknickung, nämlich des Hallux valgus das Schuhwerk die Hauptrolle spielt.

Die Veränderung der Hebelarme des Fußes.

Um die zweite hier zu behandelnde Verschiedenheit des kindlichen Fußes von dem des Erwachsenen verständlich zu machen, ist es notwendig, auf die Physiologie einzugehen. Jede Bewegung des Fußes im oberen Sprunggelenk beruht darauf, daß der Fuß mit dem Unterschenkel zu einem Hebel kombiniert ist. Die Drehpunktachse kann schematisch betrachtet werden als die Verbindungslinie der beiden Fußknöchel, und zwar derjenigen Punkte, die am meisten lateral beziehungsweise medial vorspringen, also entsprechend der Definition des Fußknöchelmeßpunktes nach Basler-Adolph[16]). Soll der Fuß gestreckt, d. h. dorsal flektiert werden, dann ziehen die an der vorderen Seite des Beines verlaufenden Muskeln nach oben. Der Fuß bildet in diesem Falle also einen einarmigen Hebel. Bei der Sohlenbeugung im oberen Sprunggelenk greifen die Muskelgruppen an dem hinten liegenden Hebelarm des Fußes an, er soll als Fersenarm bezeichnet werden. Diese Erscheinung, daß von zwei antagonistischen Muskelgruppen die eine an einem einarmigen, die andere an einem zweiarmigen Hebel angreift, findet sich am menschlichen Körper wiederholt, z. B. im Ellbogengelenk. Der Fersenarm wird dargestellt als die von der Gelenkachse auf die Achillessehne gefällte Senkrechte. Der vordere Hebelarm, der kurz Zehenarm genannt werden soll, ist aufzufassen als die horizontale Entfernung der Mittelfußköpfchen von der Drehpunktachse des oberen Sprunggelenks. Diese Hebelarme

sind es nun, die sich im Laufe der individuellen Entwickelung des Menschen sowohl absolut als auch in ihrem gegenseitigen Verhältnis verändern. Eine Erkenntnis dieser Änderung ist deswegen von großer Bedeutung, weil von den Hebelarmlängen die Kraft abhängt, die die Wadenmuskulatur aufbringen muß.[17])

Methodik zur Untersuchung der Hebelarme.

Ich zeichnete zunächst zur bequemen Ausführung mit einem Fettstift die weitesten Knöchelvorsprünge an. Zur Feststellung des Fersenarmes benützte ich einen von Herrn Prof. Basler angegebenen Maßstab, der folgende Form hat. Zwei Blätter von einer Breite von ca. 1½ cm und einer Dicke von ca. 2 mm sind mit ihren Enden rechtwinklig so miteinander verbunden, daß nicht nur die Längen der Blätter, sondern auch ihre Breiten einen rechten Winkel miteinander bilden. Der längere ca. 15 cm große Schenkel a trägt auf beiden Seiten eine vom Blatt b aus beginnende Zentimetereinteilung. Dieses Winkellineal legte ich mit dem breiten Teile so an die Achillessehne an, daß das Blatt b fest auf der Sehne lag. Der lange Streifen a stand dann senkrecht zur Sehne. Wird die Einrichtung so lange verschoben, bis der Maßstab auf den Knöchelmeßpunkt zu liegen kommt, dann läßt sich der Abstand unmittelbar ablesen. Dabei ist zu beachten, daß der vordere Schenkel des Winkellineals parallel zur Fußachse verläuft; als solche sah ich eine Linie an, die an der Mitte des Fußrückens beginnend in dem Zwischenraum zwischen zweiter und dritter Zehe endigt; eine Nichtbefolgung gerade dieses Punktes kann zu den verhältnismäßig stärksten Fehlergebnissen führen. Hält man sich ferner nicht streng an die angegebene Regel, daß die hintere Platte des Lineals flach der Sehne aufgelegt werden muß, d. h. also, daß das Winkellineal wagerecht zur Fußunterlage stehen muß, dann erhält man zuweilen um so größere Werte für den Fersenarm, je tiefer man an der Ferse herabgeht, weil oft der hintere Teil der Ferse unten stark vorspringt und deshalb der Hebelarm viel größer ausfallen muß, je tiefer man ihn mißt.[18]) Bei der Messung des vorderen, besonders aber des hinteren Hebelarms muß endlich das Bein gerade gehalten werden; denn

bei jeder Bewegung des Beines, die sich auf das obere Sprunggelenk überträgt, verändern sich natürlich die Hebelarme. Eine solche Änderung des hinteren Hebelarmes wiegt im Hinblick auf den später errechneten Index der Hebelarme schwerer, weil er der kleinere von beiden ist. Das Mittel also der so gewonnenen Abstände von Achillessehne zu äußerem beziehungsweise innerem Knöchelmeßpunkt ist der Fersenarm.

Den Zehenarm habe ich gemessen, indem ich mit einem kleinen Lot die Knöchelvorsprünge auf die Unterlage projizierte, die Abstände dieser Projektionen vom ersten beziehungsweise fünften Zehengrundgelenk maß und ihr Mittel nahm. Das Lot darf natürlich nicht am Fuß hängen bleiben, eine Gefahr, die besonders bei Plattfuß an der Außenseite des Fußes besteht. Verhältnismäßig den größten Schwankungen unterliegt die Lokalisation des zu messenden Punktes am Zehengrundgelenk; an der Außenseite fühlt man meist das scharfe Köpfchen des Metatarsale V, medial aber ließen sich Fehler von einigen Millimetern manchmal nicht vermeiden, besonders bei kleinen Kindern und bei schwach entwickelten Knochen. Die Distanz zwischen Knöchel und zugehörigem Zehengrundgelenk wurde im Gegensatz zur Bestimmung des hinteren Hebelarmes nicht in der Projektion auf die Gelenkachse gemessen, wie es oben aus der Beschreibung hervorgeht. Ich habe diese Art der Messung der Einfachheit halber bevorzugt, weil die Länge des Zehenarmes doch ein Kompromiß darstellt aus verschieden großen Strecken.[19]) Dadurch können durch das verschieden starke Vorspringen der Knöchel gewisse, wenn auch zu vernachlässigende Fehler entstehen.

Die Größe der Hebelarme in den verschiedenen Altersklassen.

Vergleicht man zunächst die für jede Altersklasse festgestellten Mittelwerte des vorderen wie des hinteren Hebelarmes, dann ergibt sich, wie kaum anders zu erwarten war, eine stetige Zunahme sämtlicher Größen mit dem Alter. Das ist ein beinahe selbstverständliches Ergebnis. Es wächst der Mittelwert der Fersenarme bei den Mädchen von 3,49 cm in der Altersklasse $6\frac{1}{2}$ bis zu 4,90 cm in der Klasse $15\frac{1}{2}$.

Bei den Knaben fand ich ein Steigen des Mittelwertes von 3,55 cm bei den Sechsjährigen bis zu 4,74 cm bei den Dreizehnjährigen. Bei den zum Vergleich gemessenen Frauen beträgt der Mittelwert 4,89 cm, bei den Männern 5,40 cm. Ebenso wie der Mittelwert steigt auch der Zentralwert, der größte und der kleinste Wert mit den einzelnen Altersklassen. Im einzelnen sind die Ergebnisse aus der Tabelle 6 und 7 zu ersehen.

Tabelle 6.

Fersenarme bei Frauen und Mädchen.

Altersklasse	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Erwachsene
Mittelwert cm	3,49	3,90	3,85	4,10	4,21	4,42	4,56	4,70	4,86	4,90	4,89
Zentralwert „	3,50	3,60	3,80	4,05	4,20	4,40	4,55	4,70	4,88	4,88	4,80
Kleinster Wert „	2,70	3,15	3,10	3,50	3,35	3,35	5,80	3,95	4,30	4,20	3,85
Größter Wert „	4,00	4,20	4,60	4,80	5,25	5,10	5,55	5,35	5,85	5,80	6,20

Tabelle 7.

Fersenarme bei Knaben und Männern.

Altersklasse	6	7	8	9	10	11	12	13	Erwachsene
Mittelwert	3,55	3,74	3,91	4,05	4,27	4,48	4,64	4,74	5,40 cm
Zentralwert	3,55	3,70	3,95	4,03	4,28	4,45	4,65	4,75	5,40 cm
Kleinster Wert	3,00	3,25	3,05	3,50	3,60	3,85	3.90	4,00	4,60 cm
Größter Wert	3,95	4,25	4,40	5,00	4,95	5,30	5,30	5,50	6,30 cm

Der Zehenarm wächst im Mittel in den erwähnten Altersklassen bei den Mädchen von 8,80 cm zu 10,95 cm an, bei den Knaben von 8,98 cm zu 10,98 cm. Bei den Frauen erhielt ich als Mittel 11,04 cm, bei den Männern 12,33 cm. Die Werte für die Zehenarme habe ich in der gleichen Weise wie für die Fersenarme in Tabelle 8 und 9 zusammengestellt.

Tabelle 8.

Zehenarme bei Mädchen und Frauen.

Altersklasse	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Erwachsene
Mittelwert	8,80	9,13	9,44	9,84	10,08	10,33	10,72	10,78	10,89	10,95	11,04 cm
Zentralwert	8,75	9,10	9,55	9,85	10,10	10,45	10,70	10,80	10,80	10,95	11,05 cm
Kleinster Wert	7,70	8,20	7,85	7,55	8,65	8,75	8,80	8,95	9,70	10,10	9,90 cm
Größter Wert	10,15	10,10	10,50	11,40	11,45	11,90	12,35	12,10	12,65	12,10	11,95 cm

Tabelle 9.

Zehenarme bei Knaben und Männern.

Altersklasse	6	7	8	9	10	11	12	13	Erwachsene
Mittelwert	8,98	9,20	9,73	10,06	10,18	10,66	10,79	10,98	12,33 cm
Zentralwert	9,05	9,35	9,65	10,08	10,18	10,40	10,60	10,90	12,50 cm
Kleinster Wert	7,65	8,05	8,50	8,90	9,15	9,40	8,85	9,80	11,35 cm
Größter Wert	9,95	10,45	11,20	11,10	11,25	11,65	12,40	12,50	13,70 cm

Wie man also sieht, nehmen mit zunehmendem Alter beide Hebelarme zu.

Zieht man Fersenarme und Zehenarme zusammen, so erhält man ein annähernd richtiges Bild vom Längenwachstum des Fußes. Die Resultate stimmen in großen Zügen mit denen von Davenport[20]) überein; bis zur Pubertät geht das Wachstum sehr schnell, während es dann langsamer vor sich geht.[21]) Bei den Frauen ist es mit der Pubertät nahezu abgeschlossen; bei meinen Messungen sind sogar die Werte der Frauen niedriger als die der Mädchen von 15—16 Jahren;

dies mag damit zusammenhängen, daß die Altersklassen 14½ und 15½ einer Mittelschule entstammen, also im Verhältnis zu den anderen gemessenen Personen eine Auslese nach Begabung, wahrscheinlich aber auch nach körperlicher Entwickelung darstellen. Bei den Männern jedoch scheint das Wachstum auch nach der Pubertät anzuhalten; denn ihre Werte liegen wesentlich höher als die der Frauen, während sonst Jungen und Mädchen annähernd parallel gehen, die Jungen mit meist etwas höheren Werten führen, im Gegensatz zu den Feststellungen Davenports, nach denen die Mädchen von 9—11 Jahren den Knaben in der Wachstumsschnelligkeit voraus sein sollen.

Verhältnis der Hebelarme.

Um die gegenseitige Beziehung des vorderen und des hinteren Hebelarmes deutlicher zum Ausdruck zu bringen, habe ich den Index gebildet nach der Formel

$$\text{Index} = \frac{100 \times \text{Fersenarm}}{\text{Zehenarm}}$$

Betrachte man zunächst die gewonnenen Indizes beim männlichen Geschlecht. Den niedrigsten mittleren Index weist die Altersklasse 6½ mit 39,5 auf; dann folgt ein allmähliger Anstieg bis zur Klasse 13½ mit einem mittleren Index von 43,2. Zentralwerte, größte und kleinste Werte verhalten sich erwartungsgemäß ähnlich. Ein Vergleich mit den Männern zeigt, daß bei diesen der Index noch um ein geringes höher liegt.

Tabelle 10.

Indizes aus Fersen- und Zehenarm bei Knaben und Männern.

Altersklasse	6	7	8	9	10	11	12	13	Erwachsene
Mittelwert	39,5	40,8	40,2	40,3	41,9	42,0	43,0	43,2	43,8
Zentralwert	39,2	40,3	40,4	40,0	41,9	43,0	43,8	42,4	43,8
Kleinster Wert	32,8	35,3	32,5	36,1	35,3	36,2	37,6	34,4	35,9
Größter Wert	46,5	48,2	45,6	47,8	47,7	53,8	48,6	54,7	49,1

Für eine mehr ins Einzelne gehende Übersicht habe ich in den verschiedenen Altersklassen die Personen mit annähernd gleichen Indizes in Gruppen zusammengefaßt. Dazu habe ich die Gruppen eingeteilt in solche mit einem Index unter 36, dann in Gruppen mit einem Index von 36 bis 38,9, von 39 bis 41,9, von 42 bis 44,9, von 45 bis 47, 9 und schließlich in eine Gruppe mit den Indizes über 48. Die stärksten Gruppen sind fast durchweg die Gruppen mit einem Index von 39 bis 41,9 und die mit einem Index von 42 bis 44,9. Beim männlichen Geschlecht ist in den Altersklassen 6½, 7½, 8½, 9½ und 10½ die Indexgruppe 39 bis 41,9 die stärkste mit beziehungsweise 27, 23, 22, 26 und 19 Personen; dabei ist aus der Tabelle die Gesamtzahl der untersuchten Personen in einer Alterklasse, die dieselbe wie bei den Angaben für den Großzehenwinkel ist, zu ersehen. Dann weist beim Jahrgang 11½ und 12½ die Gruppe mit einem Index von 42 bis 44,9 die meisten Personen auf, nämlich 23 und 19 Schüler. Bei den Dreizehneinhalbjährigen ist wieder die Indexgruppe 39 bis 41,9 die stärkste. Von den 28 Männern stehen die verhältnismäßig meisten, nämlich 12, in der Indexgruppe von 42 bis 44,9.

Tabelle 11.

Verteilung der untersuchten Knaben und Männer auf die verschiedenen Indexgruppen.

Index-gruppe	Altersklasse 6	7	8	9	10	11	12	13	Erwachsene	
unter 36	3	3	2	—	1	—	—	1	1	Personen
36—38,9	24	15	7	16	3	7	3	—	2	„
39—41,9	27	23	22	26	19	14	8	12	5	„
42—44,9	9	12	9	8	14	23	19	11	12	„
45—47,9	3	4	1	2	5	13	5	6	3	„
über 48	—	1	—	—	—	5	2	3	5	„
	66	78	41	52	42	62	37	33	28	Gesamtzahl der Personen

Beim Betrachten der höchsten und niedrigsten Indexgruppen fällt in obiger Tabelle auf, daß mit zunehmendem Alter die

niedrigsten Indexgruppen immer schwächer, die höheren dagegen stärker werden, wie es nach den Ergebnissen für den Mittelwert zu erwarten war.

Fast ebenso wie bei den Knaben verhalten sich die Indizes bei den Mädchen. So sieht man bei der Altersklasse 6½ einen mittleren Index von 39,1. Bei der folgenden Altersklasse 7½ fällt zwar der Mittelwert des Index auf 38,7, die Altersklasse 8½ zeigt aber schon wieder ein Steigen des Index auf 40,0. Dann steigen die Indizes stetig weiter bis zu einem mittleren Index von 44,7 bei den Fünfzehneinhalbjährigen. Die Differenz zwischen der Altersklasse 6½ und der Altersklasse 15½ beträgt also 6 Indexteile, sie entspricht also einem verhältnismäßigen Mehrzuwachs von einem halben Zentimeter beim Fersenarm oder einem verhältnismäßigen Zurückbleiben um mehr als einen Zentimeter beim Zehenarm, wie unten noch erörtert werden wird.

Ein Vergleich mit den erwachsenen Frauen zeigt allerdings einen geringen Rückschlag bei diesen auf einen Index von 43,8. Jedoch glichen die Altersklassen 14½ und 15½ der Mädchen stark den Erwachsenen, wie ja auch ihre absoluten Maße für Fersen- und Zehenarm zeigen, der Mittelwert des Zehenarms ist sogar größer als der bei den Frauen.

Man wird nun ein Steigen um einen oder zwei Indexteile oder einen kleinen Rückschlag nicht überschätzen, wenn man sich über die Empfindlichkeit der Indizes auf kleine Schwankungen des Fersenarms wie auch des Zehenarms klar wird. Aus dem Beispiel

$$\begin{aligned} 400 &: 10 = 40 \\ 410 &: 10 = 41 \\ 400 &: 10{,}1 = 39{,}6 \end{aligned}$$

— die Zahlen dieses Beispiels entsprechen ungefähr dem Durchschnitt der gefundenen Werte für den Fersen- und den Zehenarm (4,0 für den Fersenarm, 10,0 für den Zehenarm) — ersieht man folgendes; bei den gegebenen Zahlen bedeutet ein Zuwachs von nur einem Millimeter beim Fersenarm schon einen Zuwachs von einem Indexteil, aber ein Zuwachs von einem Millimeter beim Zehenarm entspricht einem Zuwachs von nur 0,4 Indexteilen oder ein Indexteil einem Zuwachs von 2,5 mm beim Zehenarm. Daraus geht also einmal hervor, daß schon Messungsfehler von ein paar Millimetern genügen, um

einen Rückschlag zu verursachen, ferner, daß erst eine Zunahme von mehreren Indexteilen oder eine langsame, aber stetige Zunahme mit einem wirklichen Steigen gleichbedeutend ist, und schließlich, daß Änderungen des Fersenarmes mehr als doppelt so schwer ins Gewicht fallen als solche des Zehenarmes.

Tabelle 12.

Indizes aus Fersen- und Zehenarm bei Mädchen und Frauen.

Altersklasse	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Erwachsene
Mittelwert	39,1	38,7	40,0	41,7	41,8	42,8	42,5	43,6	44,6	44,7	43,8
Zentralwert	39,5	39,7	40,8	41,5	42,1	42,3	42,8	44,2	44,8	43,8	43,5
Kleinster Wert	32,0	33,0	33,7	32,3	35,7	30,7	33,9	36,0	39,5	40,1	36,8
Größter Wert	47,0	47,6	46,7	52,3	51,0	49,7	50,3	49,3	49,5	53,0	55,3

Aufgefallen ist mir bei den Indizes, daß erwachsene Personen von besonders schwächlicher, infantiler Konstitution besonders geringe Indizes aufweisen. So hat die zweitkleinste erwachsene Frau, die schon 47 Jahre alt ist, bei einer Körpergröße von 1,47 m auch den kleinsten Index von 36,8. Die kleinste, 1,43 m große Frau zeigt einen Index von 39,3. Dabei möchte ich aber nicht so die Beziehung zwischen kleiner Körpergröße und niedrigem Index, als vielmehr von infantilem Körperbau und niedrigem Index betonen. Daß die kleine Körpergröße nicht mit kleinem Index parallel zu gehen braucht, das beweist der kleinste gemessene Student von einer Körpergröße von 1,63 m, der einen Index von 43,8 aufweist. Dieser Student gehört aber dem vollentwickelten pyknischen Körpertyp an.

Nun möchte ich noch eine Übersicht geben über die Streuung der Indizes in den verschiedenen Altersklassen beim weiblichen Geschlecht. In der Altersklasse 6½ finden sich verhältnismäßig die meisten, nämlich 33 Schülerinnen in der

Indexgruppe 36 bis 38,9. Die Altersklassen 7½, 8½ und 9½ bevorzugen wie die Knaben die Gruppe mit einem Index von 39 bis 41,9 mit beziehungsweise 24, 27 und 30 Schülerinnen. Die Indexgruppe 42 bis 44,9 ist in den älteren Jahrgängen die stärkste; sie enthält bei den Altersklassen 10½, 11½, 12½, 13½, 14½ und 15½ entsprechend 29, 32, 40, 31, 12 und 6 Mädchen. Bei den erwachsenen Frauen fand ich zwei annähernd gleich starke Indexgruppen, nämlich die Gruppe mit einem Index von 39 bis 41,9 und die Gruppe mit einem Index von 45 bis 47,9 mit 9 beziehungsweise 8 Frauen. Wie die unten angeführte Tabelle 13 zeigt, sind auch hier wie beim männlichen Geschlecht die niederen Indexgruppen bei den jüngeren Jahrgängen stärker vertreten, bei den älteren Jahresklassen nehmen erwartungsgemäß die höheren Indexgruppen zu.

Tabelle 13.

Verteilung der Mädchen und Frauen auf die einzelnen Indexgruppen.

Indexgruppe	Altersklasse 6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Erwachsene	
unter 36	5	5	2	4	1	3	1	—	—	—	—	Personen
36—38,9	33	20	16	18	11	6	12	3	—	—	2	„
39—41,9	24	24	27	30	23	32	25	15	4	6	9	„
42—44,9	18	8	22	28	29	32	40	31	12	6	4	„
45—47,9	4	3	5	8	8	12	15	19	10	6	8	„
über 48	—	—	—	1	3	2	7	4	4	4	3	„
	84	60	73	89	75	87	100	72	30	22	26	Gesamtzahl der Personen

Himmel[22]) hat bei seinen Messungen höhere Differenzen zwischen dem Index der jüngsten Kinder und dem der Erwachsenen gefunden. Das mag daran liegen, daß seine Untersuchungen vorwiegend an kranken Beinen und Füßen vorgenommen wurden.

Als Ergebnis der bisherigen Hebelarmuntersuchungen fasse ich zusammen: die Indizes aus Fersen- und Zehenarm wachsen mit fortschreitendem Alter bis zum Entwicklungsabschluß, das bedeutet aber, der Fersenarm wächst verhältnismäßig stärker als der Zehenarm.

Soll bei der Messung die Dicke der Achillessehne berücksichtigt werden?

Wenn wir die physiologische Betrachtungsweise der morphologischen voranstellen, dann muß in erster Linie gefragt werden, wie die Achillessehne zu beurteilen ist. Bei der Messung des Fersenarmes mit dem Winkellineal bleibt die Dicke der Achillessehne unberücksichtigt, die ja keine Linie im mathematischen Sinne, vielmehr ein ziemlich dicker Strang oft von 1 cm Mächtigkeit ist. Ein Teil der Sehnenfasern verläuft also weiter hinten, ein Teil weiter vorn; so gibt es längere und kürzere Fersenarme. Man wird wohl den geringsten Fehler begehen, wenn man bis zur Mitte der Sehne mißt, d. h. vom gemessenen Wert des Fersenarmes die halbe Sehnendicke abzieht. Die zu diesem Zweck nötige Messung der Sehnendicke wird mittels des Stangenzirkels vorgenommen; sie ist jedoch wenig empfindlich und kommt beinahe einer Schätzung gleich. Ich fand ein Wachstum der Sehnendicke von 7 mm bei der jüngsten Altersklasse bis zu 11 mm bei den Erwachsenen.

Den Durchschnittswert der mittleren Fersenarme habe ich berechnet, indem ich vom Durchschnittswert der mittleren Fersenarme einer Altersklasse den gesondert errechneten halben Durchschnittswert der Sehnendicke abzog; zwar ist eine solche gesonderte Berechnung eines Durchschnittswertes bei anthropologischen Messungen im allgemeinen unstatthaft, weil eine Streuung beziehungsweise atypische Fälle möglicherweise nicht so deutlich werden. Hier aber hat dies bei der groben Art der Sehnenmessung wenig Bedeutung, aber den Vorteil einer leichteren Berechnung.

Vergleicht man nun die Werte der so erhaltenen Indizes aus Fersenarm zu Zehenarm, so bleibt das Bild dasselbe. Man könnte zwar erwarten, daß der Sehnenabzug die Indizes weniger ansteigen ließe, da die Sehnen mit zunehmendem Alter kräftiger werden, also bei jeder höheren Altersklasse ein größeres Stück vom Fersenarm abgezogen wird. Doch sind diese Wertunterschiede zu gering, um aufzufallen; denn der Unterschied zwischen der kleinsten und größten Durchschnittsdicke der Sehnen beträgt nämlich 4 mm, die halbe Differenz, die im Höchstfalle bei den älteren Jahrgängen und bei den Erwachsenen vom Fersenarm mehr abgezogen wird, 2 mm.

Tabelle 14.

Mittelwerte der halben Sehnendicke, der Fersenarme nach Abzug der halben Sehne und der unter Zugrundelegung dieser Fersenarme erhaltenen Indizes.

Knaben und Männer.

Altersklasse	6	7	8	9	10	11	12	13	Erwachsene	
Halbe Sehne	3,5	3,9	3,9	4,3	4,5	4,8	5,0	5,4	5,5	mm
Fersenarm	3,20	3,35	3,52	3,62	3,82	4,00	4,14	4,00	4,81	cm
Index	35,6	36,3	36,2	36,0	37,5	37,5	38,4	38,3	38,7	

Mädchen und Frauen.

Altersklasse	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Erwachsene	
Halbe Sehne	3,6	3,6	3,6	4,1	4,4	4,7	5,0	4,8	5,0	5,0	5,0	mm
Fersenarm	3,13	3,24	3,49	3,69	3,77	3,95	4,06	4,22	4,36	4,42	4,39	cm
Index	35,6	35,5	36,9	37,5	37,4	38,2	37,9	39,5	40,0	40,1	39,4	

Unabhängigkeit vom Geschlecht und Körpergröße.

Es wäre nun möglich, daß bei den Hebelarmen und bei den Indizes Unterschiede zwischen beiden Geschlechtern beständen. Diese könnten typisch sein, es könnten aber auch nur rein zeitlich bedingte Unterschiede bestehen, da ja in bestimmten Zeiten. z. B. während der Pubertät die Mädchen schneller wachsen und sich entwickeln als die Knaben, während sie später vom männlichen Geschlecht überflügelt werden. Ich habe solche Unterschiede eindeutiger Art nicht feststellen können.

Auch läßt sich eine Abhängigkeit von der Körpergröße innerhalb der einzelnen Altersklassen nicht feststellen, wenn

natürlich auch, soweit die Körpergröße mit der gesamten Körperentwickelung parallel geht, ein Unterschied bestehen muß. Ich habe in jeder Altersklasse die Mittelwerte der Indizes der Hälfte der größeren Schüler und die Mittelwerte der Indizes der Hälfte der kleineren Schüler gegenübergestellt; doch das Ergebnis war ganz regellos.

Vergleich zwischen rechtem und linkem Fuß.

Zwar ist in den Tabellen, wie schon einmal betont, nur das Ergebnis vom linken Fuß berücksichtigt. Ich habe jedoch auch einmal Vergleiche zwischen Hebelarmlängen und Indizes von rechtem und linkem Fuß angestellt. Dabei konnte ich feststellen, daß bei nicht kranken Füßen — pathologische Fälle, wie z. B. Atrophie eines Fußes auf Grund spinaler Kinderlähmung habe ich von vornherein nicht berücksichtigt — die kleinsten individuellen Schwankungen bei der Länge des Fersenarmes bei Kindern sich finden; Unterschiede, die hier auftraten, waren meist Messungsungenauigkeiten und ließen sich sogleich durch nochmalige Nachmessung korrigieren. Etwas größer sind die Unterschiede der Zehenarmlängen. Dementsprechend bestehen auch Verschiedenheiten der Indizes von rechtem und linkem Fuß, besonders bei denen der Erwachsenen. Eine Gesetzmäßigkeit dieser Schwankungen jedoch ist nicht vorhanden, vielmehr sind sie individuell verschieden.

Erörterung des Ergebnisses über das Verhältnis der Hebelarme.

Die Änderung des Index aus Fersen- und Zehenarm ist also unabhängig vom Geschlecht und in den einzelnen Altersklassen auch unabhängig von der Körpergröße. Dies spricht im Gegensatz zu den Ergebnissen beim Großzehenwinkel, wie im ersten Teil der Arbeit gezeigt worden ist, gegen eine ursächliche Bedeutung der Fußbekleidung. Es ist die Frage, wie die stärkere Zunahme des Fersenarmes zustande kommt. Entweder wächst das Fersenbein verhältnismäßig stärker als die Teile des Vorderfußes, die die Zehenarmlänge bestimmen, oder das Fußgewölbe senkt sich, wodurch der kürzere Arm verhältnismäßig mehr an Länge gewänne. Letztere Möglichkeit ist aber wenig wahrscheinlich, da eine solche Senkung des Fußgewölbes ja zu Plattfuß führte; ich habe jedoch wenig Plattfüße bei meinen Messungen gesehen. Es fragt sich nun

weiter, ob die Zunahme des Fersenbeines physiologisch für die Leistung des Fußes einen Vor- oder Nachteil bedeutet. Diese Frage der physiologischen Bedeutung bleibt hier offen, sie ist ein Problem, das durch Messung der Muskelkraft oder durch anatomische Messung gelöst werden könnte. Jedenfalls bestimmt das Verhältnis von Fersenarm zu Zehenarm mit die Größe der aufzuwendenden Kraft bei der Sohlenbeugung des Fußes, z. B. beim Gehen. So soll der federnde Gang der Neger daher rühren, daß bei ihm der hintere Hebelarm verhältnismäßig länger ist als bei den Weißen infolge eines stärkeren Vorspringens des Fersenhöckers [23]), ihre Wadenmuskulatur also bei selber Stärke wie beim Weißen sie zu größeren Leistungen befähigt. Dieser ausgeprägte Fersenhöcker findet sich auch, wie oben bei der Methode der Messung angegeben wurde, bei manchen der hier untersuchten Personen. Leider ist diese Eigentümlichkeit aber leichter durch anatomische Nachmessungen als durch Untersuchungen am Lebenden nachzuweisen; sie blieb hier unberücksichtigt. Wenn man diesen Fersenhöcker auch messen wollte, so würde das über die tatsächliche Stärke des wirkenden Fersenarmes nicht viel aussagen, da ja die Sehnenfasern nicht an der hintersten Prominenz des Fersenbeines anzusetzen brauchen. Die verhältnismäßige Zunahme des Fersenarmes ist also nach meiner Ansicht mit einer Kraftersparnis gleichbedeutend.

Zusammenfassung der Ergebnisse.

1. Der Großzehenwinkel, d. h. der von der Verlängerung einer an dem inneren Fußrand gelegten Gerade und dem medialen Großzehenrand eingeschlossene Winkel wurde im Mittel in höheren Schulklassen höher gefunden als in niederen.
2. In allen Altersklassen betrug aber der kleinste Großzehenwinkel 0^0; ebenso war der größte Wert überall annähernd gleich.
3. Bei erwachsenen Personen war der Mittelwert für den Halluxwinkel noch größer als für die Schulkinder.
4. Desgleichen wurden für das weibliche Geschlecht in allen Altersklassen höhere Werte gefunden als für das männliche.

5. Die gefundenen Ergebnisse legen es nahe, als Ursache für die Abknickung der Großzehe das Schuhwerk verantwortlich zu machen. Denn bei älteren Personen dauert der Einfluß der Fußbekleidung schon länger als bei jüngeren, und vom weiblichen Geschlecht werden spitzere Schuhe getragen.
6. Außerdem ließen sich für die Versuchspersonen Verschiedenheiten feststellen, je nachdem sie gewohnheitsmäßig barfuß gingen oder Schuhe trugen.
7. Körperlich besser entwickelte Schüler wiesen oft größere Großzehenwinkel auf als kleinere Schüler derselben Altersklasse; auch dies könnte durch das Schuhwerk erklärt werden, da bei schnellerem Wachsen der Füße die Schuhe schneller zu klein wurden.
8. Ausnahmsweise kommen auch in den jüngsten Altersklassen hohe Halluxwinkel vor, die z. T. durch besonders schlechte Fußbekleidung erklärt werden konnten.
9. Beide Hebelarme des Fußes wachsen selbstverständlich ungefähr parallel mit dem Gesamtorganismus.
10. Aber der Fersenarm wächst im Verhältnis zum Zehenarm mit fortschreitendem Alter stärker.
11. Daher kommt es, daß bei Erwachsenen der Fersenarm verhältnismäßig größer ist als der Mittelwert für den Fersenarm bei Schulkindern.
12. Eine Abhängigkeit des verschieden starken Wachstums der Hebelarme vom Geschlecht und in den einzelnen Alterklassen von der Körpergröße ließ sich nicht feststellen.

Literaturverzeichnis.

[1]) Ch. B. Davenport, The growth of the human foot, Amarican Journ. of Physic. Anthrop. Bd. 17, S. 167 (175) 1932.

[2]) S. Weißenberg, Über die Formen der Hand und des Fußes. Zeitschrift Ethnol., Bd. 27, S. 82 (104) 1895.

[3]) Essendorfer cit. nach J. Ranke, Der Mensch. III. Aufl. Bd. 2, S. 294, 1912.

[4]) P. Nowak, Uber die Veränderung des Großzehenwinkels während des Wachstumsalters, Ztschr. f. Orth., S. 366, 1936.

[5]) R. Martin, Lehrbuch der Anthropologie, S. 69, 1914.

[6]) R. Martin, Lehrbuch der Anthropologie, S. 67 und 68, 1914.

[7]) R. Martin, Lehrbuch der Antzhropologie, S. 71 und 72, 1914.

[8]) A. Schanz, Ztschrft. f. o. Ch., 47, S. 485.

[9]) Schede, Ztschrft. f. o. Ch., Bd. 46, S. 41—49, 1924.

[10]) W. Thomsen, „Fuß- und Leibesübungen" aus „Leibesübungen und körperliche Erziehung", S. 248—252, 1935.

[11]) G. Hohmann, „Fuß und Bein", 2. Aufl., S. 127, 1934.

[12]) H. Matheis, „Eine ätiologische Operation des Hallux valgus" aus Ztschrft. f. o. Ch., Bd. 46, S. 419—429, 1924.

[13]) Payr, Ztschrft. f. o. Ch., Bd. 47, Nr. 41, 1925.

[14]) P. Nowak, Ztschrft. f. Orth. und ihre Grenzgebiete, Bd. 65, S. 376, 1936.

[15]) L. Sombeck, „Über den Einfluß des Schuhwerks auf die Form und Leistung des Fußes". Diss. Breslau 1938.

[16]) E. Adolph, „Über die Höhe des inneren und äußeren Fußknöchels". Diss. Breslau 1938, S. 3.

[17]) J. Himmel, „Über die Kraft der Wadenmuskulatur", Diss. 1936, S. 8.

[18]) P. Nowak, Ztschr. f. Orth. und ihre Grenzgebiete, 65. Bd., S. 373, 1936.

[19]) A. Basler, „Über die Anpassung des Organismus an die Umwelt", S. 35.

[20]) Ch. B. Davenport, The growth of the human foot, American Journ. of Physic. Anthrop., Bd. 17, S. 167, 1932.

[21]) S. Weißenberg, Über die Formen der Hand und des Fußes. Ztschr. Ethnol. Bd. 27, S. 82, 1895.

[22]) J. Himmel, „Über die Kraft der Wadenmuskulatur". Diss. 1936, S. 9.

[23]) M. Herz, „Der Bau des Negerfußes". Ztschr. f. o. Ch., Bd. 11, S. 168 (173), 1903.

Lebenslauf.

Ich bin am 21. 1. 1911 zu Podlesie OS. als Sohn des jetzigen Rektors Willibald Nowak und seiner Ehefrau Martha, geb. Saenger, geboren. Nach dem Besuch der Volksschule und der humanistischen Gymnasien in Neiße und in Glatz legte ich Ostern 1931 meine Reifeprüfung in Glatz ab. Darauf studierte ich an den Universitäten Hamburg und in Breslau. In meinem ersten Semester belegte ich Germanistik, Englisch und Geographie. Vom Wintersemester 1931/32 ab studierte ich Medizin. Am 28. Juli 1937 bestand ich vor der Prüfungskommission in Breslau das Medizinische Staatsexamen. In meinem Praktischen Jahr war ich je vier Monate auf einer chirurgischen, einer pathologisch-bakteriologisch-serologischen und auf einer inneren Abteilung tätig. Nach meiner Bestallung als Arzt vom 1. 9. 1938 arbeitete ich kurze Zeit als Volontärassistent an der Landesfrauenklinik in Breslau. Dann nahm ich vom 24. 10. 1938 bis zum 21. 1. 1939 an einer Wehrmachtsübung beim Heer teil. Im Anschluß daran war ich als Assistenzarzt — und als Landarztvertreter tätig. Seit dem 1. 7. 1939 bin ich Assistenzarzt am Kreiskrankenhaus in Namslau.

Es ist mir angenehme Pflicht, Herrn Professor Basler für die Überlassung der Arbeit und seine bereitwillige Unterstützung meinen verbindlichsten Dank auszusprechen.